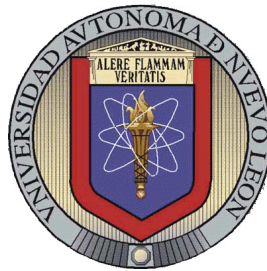


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCION DE POSGRADO



CAMBIOS ESTACIONALES EN PROPIEDADES DE SUELOS

BAJO DIFERENTES USOS

TESIS DE MAESTRIA

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. LAURA NELLY REYNA GONZALEZ

LINARES NUEVO LEÓN MÉXICO

DICIEMBRE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

CAMBIOS ESTACIONALES EN PROPIEDADES DE SUELOS

BAJO DIFERENTES USOS

TESIS DE MAESTRIA

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta

ING. LAURA NELLY REYNA GONZALEZ

COMITÉ DE TESIS



Dra. Marisela Pando Moreno

Directora



Dr. Humberto González Rodríguez

Asesor



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Asesor



M.C. Flor María Silva Arredondo

Asesor Externo

Declaro que la presente investigación es original, se desarrolló para obtener el título de Maestría en Ciencias Forestales, donde se utiliza información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.

Ing. Laura Nelly Reyna Gonzalez

Diciembre 2013

AGRADECIMIENTOS.

Principalmente a Dios, porque sin él no estaría aquí terminando lo que con tanto esfuerzo y entusiasmo empecé.

A CONACYT por el apoyo económico brindado mediante la beca para la realización de los estudios de posgrado.

A mi comité de tesis.

Dra. Marisela Pando Moreno por la dirección del presente trabajo, por su tiempo y dedicación para la elaboración de la tesis, pero sobre todo por el apoyo que siempre me ha brindado durante éste tiempo que estuve inactiva, siempre animándome para concluir mis estudios. ¡Muchas gracias!

Dr. Humberto González Rodríguez por darse el tiempo de leer y hacer sus acertadas recomendaciones para mejorar la calidad de esta investigación.

Dr. Enrique Jurado Ybarra por animarme siempre a que se pueden hacer mejor las cosas, por sus observaciones y por el tiempo otorgado para la revisión de esta tesis.

MC. Flor María Silva Arredondo por formar parte del comité de tesis siendo mi Asesor externo.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, Director de la Facultad de Ciencias Forestales por el apoyo que siempre me ha brindado en la realización de mis estudios en esta noble institución.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón Sub Director de Posgrado por todo el apoyo otorgado durante la realización de mis estudios.

A todos los catedráticos del programa de maestría por su dedicación y exigencia, ya que gracias a ello se nos conduce a realizar trabajos de calidad.

A Juany Castillo por el apoyo que me brindó siempre, pero sobre todo por su amistad y por motivarme siempre a seguir adelante.

A Inés Yáñez y Cesar Uribe por todo el apoyo brindado en el laboratorio de suelos, para la realización de los análisis de las muestras de suelo y Alfredo Ortega por su apoyo y compañía en campo.

A todos mis compañeros de maestría, pero en especial a Ivonne Reyes y Lalo Valencia por todo su apoyo y sus consejos, pero sobretodo por su amistad durante nuestra época de estudiantes.

Dedicatoria

A mi esposo Mario Alberto Rivero Pérez por estar conmigo hombro con hombro apoyándome siempre y motivándome para seguir adelante, eres el amor de mi vida.

A mis dos pequeñas hijas, Paola y Daniela, por ser la fuerza que día a día me levanta y me permite seguir luchando en esta vida.

A mis padres Crescencio Reyna Peñaflor y Ma. Estela Gonzalez Partida por ser mis padres y por estar siempre conmigo en los momentos más importantes de mi vida, por apoyarme y motivarme para concluir mis estudios.

También dedico este trabajo con mucho cariño a mis hermanos Chuy, Concha, Juan, Chencho y Mario, los quiero mucho.

INDICE GENERAL

Resumen.	vii
Abstract.	ix
Introducción.....	1
Hipótesis.	6
Objetivos	7
Materiales y Métodos	8
Área de estudio.....	8
Análisis de los parámetros del suelo.	11
Análisis Estadístico	13
RESULTADOS.	15
Comparaciones entre usos de suelo.....	15
<i>Materia orgánica.....</i>	16
<i>Densidad aparente.....</i>	18
Comparaciones entre estaciones del año	19
<i>Materia orgánica.....</i>	19
<i>Densidad aparente.....</i>	23
Efecto de la precipitación y temperatura en los parámetros del suelo.....	26
Deposición de hojarasca	27
Discusión	29
Conclusiones.....	33
Literatura citada	34

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas para los parámetros evaluados: densidad aparente y materia orgánica, por uso de suelo.....	9
Cuadro 2. Resultados de las pruebas de homogeneidad de varianzas.....	15
Cuadro 3. Resultados del análisis de Games-Howell para los valores de materia orgánica, comparando entre usos de suelo.....	16
Cuadro 4. Resultados del análisis de Games-Howell para los valores de densidad aparente, comparando entre usos de suelo.....	17
Cuadro 5. Estadísticas descriptivas del contenido de materia orgánica en cada uso de suelo, por estación del año y valores de p resultantes del análisis de varianza.	19
Cuadro 6. Resultados de la prueba de Games Howell para los usos de suelo que sí mostraron diferencias entre estaciones del año.	20
Cuadro 7. Estadísticas descriptivas de la densidad aparente en cada uso de suelo, por estación del año y valores de significancia (P) resultantes del análisis de varianza.	22
Cuadro 8. Resultados de la prueba de comparación de medias de Games-Howell, entre estaciones del año, para los valores de densidad aparente de cada uso de suelo.	24
Cuadro 9. Deposición promedio anual de hojarasca en cada uso de suelo.....	25
Cuadro 10. Valores de correlación (Pearson) para densidad aparente de los diferentes usos de suelo y variables climáticas.....	26
Cuadro 11. Deposición promedio anual de hojarasca en cada uso de suelo.....	27
Cuadro 12. Aportes de hojarasca por estación del año, por hectárea, en cada uso de suelo.....	28

Figura 1. Ubicación y extensión de las áreas de estudio.	11
Figura 2. Contenido promedio de materia orgánica (n=65) en cada uso de suelo.....	18
Figura 3. Valores promedio de densidad aparente (n=65) en cada uso de suelo.....	18
Figura 4. Contenido de materia orgánica (%) para los usos de suelo estudiados a lo largo del periodo de evaluación.	21
Figura 5. Valores de densidad aparente (g/cm ³) para los usos de suelo estudiados a lo largo del periodo de evaluación.	23
Figura 6. Deposition mensual de hojarasca (kilogramos/hectárea) para los diferentes usos de suelo durante 2008.....	28

CAMBIOS ESTACIONALES EN PROPIEDADES DE SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Resumen.

La conversión de ecosistemas de vegetación natural a otros usos de suelo puede alterar una reducción en el almacenamiento de carbón en el suelo debido a los cambios en la humedad y temperatura del suelo y a los cambios en la calidad y cantidad de biomasa incorporada al suelo al cambiar las especies vegetales del área. La magnitud de las pérdidas o ganancias de carbón así como los cambios en otras propiedades del suelo, dependerá del uso y manejo que se les dé, así como de las condiciones climáticas y el tipo de suelo. En el presente trabajo se evalúan los cambios estacionales que experimentan la materia orgánica y la densidad aparente en suelos vertisoles del noreste de México, bajo 6 diferentes usos: matorral, pastizal, plantación de ébanos, plantación de eucaliptos, plantación de leucaena y agostadero. Se establece la hipótesis de que las propiedades del suelo cambian a lo largo del año debido a las fluctuaciones climáticas y que los sitios de matorral sin uso tendrán mayor contenido de materia orgánica y menor densidad aparente que los demás usos de suelo evaluados y los sitios de pastizal presentarán las condiciones de suelo más desfavorables. Los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica de los sitios de pastizal (2.8%) es inferior al de todos los demás usos de suelo y no hubo diferencias entre las plantaciones de ébano (3.5%) y las de leucaena (3.7%), ni entre plantaciones de eucalipto (4.2%) y áreas de agostadero (4.5%). Asimismo, el matorral sin uso (4.9%) y el matorral utilizado como agostadero presentaron contenidos similares de materia orgánica. En el caso de la densidad aparente, los resultados muestran que la menor densidad aparente (1.09 g/cm^3) se presentó en los sitios de matorral sin uso, siendo diferente de todos los demás usos de suelo. De manera contraria, los valores más altos de densidad aparente fueron en los sitios de pastizal y de agostadero (1.32 y 1.30 g cm^{-3}); estos dos usos de suelo iguales entre sí y diferentes de los tres restantes: plantación de eucaliptos, plantación de ébanos y plantación de leucaena que mostraron valores de 1.18 , 1.18 y 1.21 g cm^{-3} .

De los seis usos de suelo estudiados, los sitios de pastizal son los que presentan mayor desertificación, evidenciada por la mayor compactación del suelo y menor contenido de materia orgánica.

Abstract.

Ecosystem conversion from natural vegetation to other land uses may induce a reduction in the soil carbon storage due to changes in the soil humidity and temperature, and to changes in quantity and quality of biomass incorporated to the soil because of the different composition of plant species. Magnitude of the gain or loss of carbon as well as changes in other soil properties depends on the use and given management, as well as climatic conditions and soil type. In this paper we evaluate seasonal changes experienced by organic matter and bulk density in vertisols of northeastern Mexico, on 6 land uses: natural scrub, grassland, Texas ebony plantation, eucalyptus plantation, leucaena plantation and rangeland. Our hypothesis is that soil properties change throughout the year due to climatic fluctuations and that natural scrub land use would have higher content of organic matter and lower values of bulk density than other land uses. Grassland sites are assumed to have the most unfavorable soil conditions. Results showed that organic matter content in grassland was lower (2.8%) than all the other land uses evaluated and there were no differences between Texas ebony plantation (3.5%), leucaena plantation (3.7%), eucalyptus plantation (4.2%), and rangeland (4.5%). Natural scrub (4.9%) and rangeland had similar organic matter content. Results for bulk density evaluation showed that the lowest bulk density (1.09 g cm^{-3}) was recorded in the natural scrub sites and this value was different from all other land uses. Conversely, the highest values of bulk density were for grassland and rangeland sites (1.32 and 1.30 g cm^{-3}) whose values were similar, but different from the three others, eucalyptus, ebony and leucaena plantation that had values of 1.18 , 1.18 and 1.21 g cm^{-3} . The grassland site exhibited the most compacted soil and lowest content of organic matter indicating higher desertification than for the other studied land uses.

Introducción.

Los suelos cambian a través del tiempo con o sin la intervención del ser humano. Los cambios a largo plazo han sido estudiados tanto a nivel de eras geológicas como en periodos de lustros o varios años, estos últimos generalmente asociados a cambios en el uso o manejo del área. Sin embargo, las fluctuaciones, posiblemente cíclicas, en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas a las estaciones del año han sido poco estudiadas para los suelos de la región.

Aún cuando la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga 2004), las propiedades de los suelos están interrelacionadas y las características de una de ellas, seguramente afectará a las demás, determinando de manera conjunta la calidad de ese suelo. Por ejemplo, Malgwi y Abu, (2011) reportan que incrementos en la estabilidad de los agregados del suelo, reducción en la densidad aparente, incremento de la porosidad y mejora de la capacidad de retención de agua, estuvieron relacionados, en ciertas áreas, con los incrementos en el carbón orgánico del suelo.

La compactación del suelo provoca una disminución en la porosidad total y, por ende, en la aireación del suelo; disminuye la velocidad de infiltración del agua e incrementa los escurrimientos y potencialmente la erosión del suelo (Williamson y Neilsen, 2000).

Los cambios de uso del suelo puede ocasionar la degradación del suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Malgwi y Abu, 2011); de aquí la importancia de evaluar las propiedades de los suelos que se encuentran bajo diferentes usos, en diversos ecosistemas y determinar la sustentabilidad de cada uno.

Quizás uno de los aspectos más estudiados, en relación con las propiedades de los suelos, es el efecto de labranza y los periodos de descanso del suelo.

Entre otros, Franzluebbers *et al.*, (1995) realizaron un estudio para evaluar el efecto de labranza y no-labranza con cultivos de sorgo, trigo y soya, en la dinámica estacional de algunas variables, entre otras la densidad aparente del suelo. Los suelos evaluados fueron margas limo arcillosas y los resultados mostraron que la densidad aparente del suelo se redujo inmediatamente después de la labranza pero después aumentó, durante los intervalos fríos y húmedos del periodo de descanso, hasta alcanzar los niveles observados en los sitios de no-labranza.

Resultados similares, en cuanto al comportamiento de la densidad aparente del suelo, reportaron Malgwi y Abu (2011) quienes, tras comparar las propiedades físicas de suelos de margas arenosas, en tres posiciones de la pendiente y dos usos de suelo (bajo cultivo y en descanso), encontraron que las diferencias en densidad aparente estuvieron influenciadas más por la posición en la pendiente que por el uso de suelo, a diferencia del carbón orgánico y la estabilidad de agregados, los cuales dependieron más del uso de suelo.

En un estudio realizado por Ahmed *et al.* (1987), donde se midió la densidad del suelo y la velocidad de infiltración para evaluar los efectos de 3 sistemas e intensidades de pastoreo, en dos estaciones del año: primavera y otoño, se encontró que la densidad aparente no difirió entre sistemas ni entre intensidades de pastoreo, pero sí entre estaciones aunque sólo en uno de los dos años estudiados.

Es ampliamente aceptado el hecho de que la transformación de vegetación nativa hacia áreas cultivadas ocasiona una notoria disminución en el contenido de materia orgánica de los suelos, debido principalmente a un incremento en la velocidad de degradación de los residuos vegetales producida por una mayor aireación (Chen y Xu, 2010; Pando *et al.*, 2004; King and Campbell, 1994). Alrededor de un 20 a 40% de la materia orgánica del suelo se pierde cuando las tierras con vegetación nativa son convertidas a áreas de cultivo (Chandran *et al.*, 2009). Sin embargo, en cultivos donde la

remoción y laboreo de la tierra son mínimos, los contenidos de carbón orgánico pueden ser altos debido a una menor velocidad de descomposición.

Asimismo, la conversión de ecosistemas de bosque a otros usos de suelo puede provocar una reducción en el almacenamiento de carbón en el suelo debido a los cambios en la humedad y temperatura del suelo y a los cambios en la calidad y cantidad de biomasa incorporada al suelo al cambiar las especies vegetales del área (Offiong e Iwara, 2012). La magnitud de las pérdidas o ganancias de carbón, después de la conversión de las tierras, dependerá del uso y manejo que se les dé, así como de las condiciones climáticas y el tipo de suelo (Ratnayake *et al.*, 2011).

Los niveles de materia orgánica en el suelo son particularmente importantes en climas tropicales donde las altas temperaturas conducen a la rápida descomposición de la materia orgánica, las reservas de ésta suelen ser bajas y hay pocas aportaciones al suelo (McDonagh *et al.*, 2001).

Para el noreste de México existen pocos trabajos tendientes a evaluar las diferencias en las propiedades del suelo bajo diferentes usos y, más escasos aún, son los trabajos que hayan reportado la variabilidad en dichas propiedades, asociadas a los cambios climáticos estacionales. Así, tenemos un reducido número de datos sobre las propiedades de los suelos y estos datos no pueden ser fielmente comparados ya que, probablemente, fueron tomados en diferentes épocas del año, con lo que las variaciones estacionales pueden estar conduciendo a interpretaciones erróneas al pretender comparar los datos provenientes de diferentes investigaciones. Rey *et al.* (2008) reportan, para bosques europeos de *Picea*, *Fagus* y *Quercus*, que la velocidad de mineralización del carbono del suelo incrementó, en todos los casos, con la temperatura; siendo 30°C la temperatura más alta probada y donde se presentaron las mayores velocidades de mineralización en todos los sitios evaluados.

Entre los trabajos realizados en la región está el de Bravo (1999), quien analiza las diferencias en el contenido de materia orgánica y nitrógeno en tres localidades con diferente vegetación: bosque de pino, matorral y mezquital, con uso como agostadero y sin uso cada uno de ellos. La autora reporta diferencias altamente significativas en el contenido de materia orgánica y nitrógeno, en los primeros 15 cm del suelo, entre las áreas sin uso (9.33 kg m^{-2} ; 0.543 kg m^{-2}) y con uso (6.62 kg m^{-2} ; 0.389 kg m^{-2}), pero no así entre localidades. Las muestras de suelo para dicho estudio fueron colectas en los meses de mayo y junio de 1998.

La deposición de hojarasca es uno de los procesos fundamentales del reciclado de nutrientes en los ecosistemas. Este proceso representa una de las principales rutas de retorno de los nutrientes, extraídos por los árboles, al suelo y por lo tanto, contribuye a la formación, estructura y fertilidad de éste (Prause et al., 1997). La cantidad de hojarasca, así como los nutrientes que ésta contiene, varían en función de las especies vegetales de donde proviene, así como de las variaciones climáticas, principalmente de la precipitación, temperatura y humedad ambiental relativa (Vargas y Varela, 2007).

A su vez, la descomposición de la hojarasca involucra procesos físicos y químicos que reducen ésta a sus constituyentes químicos básicos (Aerts, 1997). El clima es el principal factor que regula el proceso de descomposición, el cual actúa conjuntamente con las características químicas, dureza y grosor de la hojarasca, la fauna desintegradora así como con las características del suelo que favorecen la actividad de los desintegradores, tales como la porosidad, aireación y contenido de materia orgánica (Coûteaux et al., 1991). Así, la temperatura y la humedad influyen en la mineralización de la materia orgánica principalmente a través de sus efectos sobre los organismos descomponedores. Es difícil discernir y cuantificar hasta dónde influye cada uno de estos factores en la descomposición de la hojarasca debido a la interacción entre ambos y a la concurrencia de otros (Palm y Sánchez, 1990).

La caída y descomposición de la hojarasca muestran patrones temporales que reflejan variaciones ambientales en los vientos, temperatura y, principalmente, en la distribución de la precipitación, así como en la fenología de la especie. En los ecosistemas con una estación seca, bien o poca definida, la caída de hojarasca es máxima durante ese período, y su descomposición es más rápida en el siguiente período húmedo, alcanzando tasas de descomposición hasta 30% más altas en estos períodos de humedad (Álvarez-Sánchez y Becerra, 1996).

En el presente trabajo se evalúan los cambios estacionales que experimentan la materia orgánica y la densidad aparente en suelos vertisoles del noreste de México, bajo diferentes usos y se analiza la correlación entre estos cambios, la precipitación y la temperatura.

Hipótesis.

- El contenido de materia orgánica y la compactación del suelo varían a lo largo del año debido a las variaciones de precipitación y temperatura.
- Los sitios de matorral sin uso tendrán mayor contenido de materia orgánica y menor densidad aparente que los demás usos de suelo evaluados.
- Los sitios de pastizal tendrán mayor compactación que los sitios de agostadero y menor contenido de materia orgánica.

Objetivos.

- Evaluar, estacionalmente, la densidad aparente del suelo y el contenido de materia orgánica, para 6 usos de suelo en la región, durante un periodo mínimo de tres años.
- Analizar las diferencias en dichas variables entre usos de suelo.
- Analizar las diferencias en dichas variables entre estaciones del año.
- Cuantificar, mensualmente durante un año, la deposición de hojarasca en los usos de suelo estudiados, con excepción del pastizal.

Materiales y Métodos.

Área de estudio.

El área de estudio se encuentra localizada dentro del Campus Universitario de la Facultad de Ciencias Forestales, a la altura del km 145 carretera Linares-Cd Victoria. Además de un área de matorral utilizada como agostadero que colinda con los terrenos del Campus Universitario. Estas áreas se hayan situadas en la Provincia Fisiológica de la Llanura Costera del Golfo Norte, próximos a la Sierra Madre Oriental.

La topografía en las áreas seleccionadas es plana o con pendiente muy ligera, a una altitud de 350 m. Los suelos de las áreas de estudio son vertisoles, de origen aluvio-columial, profundos y de color oscuro, con alto contenido de arcilla, pH moderadamente alcalino y alto contenido de carbonatos de calcio (Woerner, 1989).

La región presenta un clima subtropical, semiárido, con veranos muy cálidos y heladas severas en algunos inviernos. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima del área es semicálido-subhúmedo, con dos épocas de lluvia estivales, si bien muy irregulares: de marzo a junio y de septiembre a octubre. La precipitación media anual es de 805 mm, de los cuales alrededor de 600 mm ocurren en los dos periodos de verano mencionados, con la mayor precipitación en el mes de septiembre. El resto de la precipitación, cerca de un 20%, se recibe en otoño-invierno y la evapotranspiración anual, estimada por el método de Thornthwaite, alcanza los 1150 mm (Návar *et al.*, 1994).

La temperatura media anual es de 22.6°C, con una amplia oscilación a través del año. La temperatura máxima mensual se tiene registrada en el mes de julio con 39.8°C y la mínima mensual en el mes de enero con 3.7°C (Estación Camacho, datos 1971-2000) (SMN, 2012).

En el siguiente Cuadro se presentan los datos de precipitación y temperatura, por estaciones del año, para el área de estudio correspondientes a los años 2002 a 2008.

Cuadro 1. Datos de precipitación, temperatura e índice de Lang (modificado por el autor).

Estación del año	Precipitación mensual (mm)	Temperatura media °C	Índice de Lang
Primavera 02	86.0	26.5	3.24528
Verano 02	369.0	30.5	12.09836
Otoño 02	490.0	23.0	21.30435
Invierno 02	161.0	14.8	10.87838
Primavera 03	53.0	25.7	2.06226
Verano 03	422.0	29.9	14.11371
Otoño 03	508.0	23.3	21.80258
Invierno 03	37.0	15.6	2.37179
Primavera 04	265.0	24.3	10.90535
Verano 04	245.0	29.9	8.19398
Otoño 04	248.0	24.9	9.95984
Invierno 04	88.0	16.7	5.26946
Primavera 05	106.0	24.1	4.39834
Verano 05	382.0	30.8	12.40260
Otoño 05	377.0	23.9	15.77406
Invierno 05	19.0	15.5	1.22581
Primavera 06	102.0	27.0	3.77778
Verano 06	103.0	30.5	3.37705
Otoño 06	274.0	23.6	11.61017
Invierno 06	132.0	14.4	9.16667
Primavera 07	193.0	23.9	8.07531
Verano 07	298.0	29.1	10.24055
Otoño 07	154.0	23.1	6.66667
Invierno 07	35.0	15.7	2.22930
Primavera 08	208.0	25.8	8.06202
Verano 08	300.0	29.2	10.27397
Otoño 08	336.0	22.0	15.27273

Los sitios de estudio están ubicados en áreas originalmente ocupadas por Matorral Espinoso Tamaulipeco, el cual está constituido por vegetación densa y muy diversa de plantas arbustivas y arbóreas, que se distinguen por un amplio rango de grupos taxonómicos con diferencias en hábitos de crecimiento, longevidad foliar y fenología (González et al 2007). Predominan las asociaciones caracterizadas por estratos arbustivos altos o medianos y arbóreos altos; siendo comunes las especies espinosas con hojas

compuestas. Las especies que destacan por su abundancia y cobertura son: *Acacia berlandieri*, *Cordia boissieri*, *Karwinskia humboldtiana*, *Bumelia celastina*, *Acacia rigidula*, *Acacia farnesiana*, *Cercidium macrum*, *Pithecellobium pallens* y *Prosopis* sp. (Estrada y Marroquín, 1988).

Los usos de suelo que se evaluaron en el presente estudio fueron: Matorral, Agostadero, Pastizal, Plantación de Eucaliptos, Plantación de Ébanos y Plantación de Leucaena.

El área llamada "Matorral" es un área de matorral espinoso tamaulipeco que ha permanecido sin uso, ni disturbio aparente, por lo menos durante los últimos 25 años y ocupa una superficie de 100 hectáreas dentro del Campus de la UANL. El área de Agostadero está también constituida por matorral espinoso tamaulipeco, solo que, a diferencia del anterior, éste es utilizado por los propietarios para pastar ganado bovino y cubre una extensión de 150 has. El pastizal fue introducido como parte de las actividades ganaderas del Centro de Producción Agropecuario de la UANL en 1983. Es una pasta de zacate Pretoria (*Dichanthium anulatum*) y zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L) donde se practica pastoreo rotacional de ganado bovino de registro y, para este estudio, se contó con una superficie cercana a 12 hectáreas. La plantación de ébanos (*Ebenopsis ebano*) se estableció en 1995 con el objetivo de probar diferentes densidades de árboles en una superficie de aproximadamente 2,000 m². Las densidades que se establecieron fueron desde 816 hasta 32,000 árboles por hectárea, con una densidad promedio de 6,068 árboles por hectárea. Las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y de leucaena (*Leucaena leucocephala*) fueron establecidas en 1988. Las superficies y ubicación de cada una de las áreas evaluadas se muestran en la Figura 1.

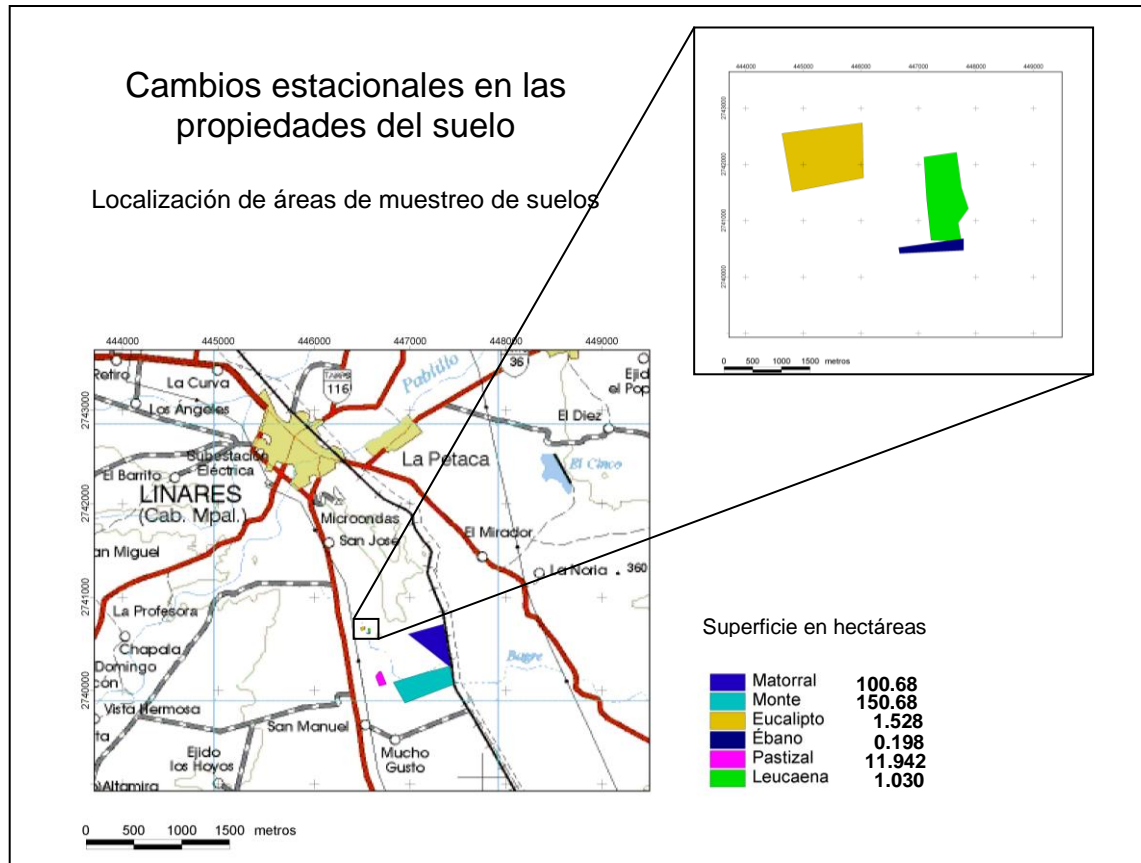


Figura 1. Ubicación y extensión de las áreas de estudio

Análisis de los parámetros del suelo.

Se colectaron muestras de suelo en las seis áreas seleccionadas con diferente uso de suelo: Matorral, Agostadero, Pastizal, Plantación de Eucaliptos, Plantación de Ébanos y Plantación de Leucaena, para realizar los siguientes análisis:

- Determinación de contenido de materia orgánica en el suelo.
- Densidad aparente del suelo como medida de la compactación del mismo.
- Textura del suelo.
- Cantidad de hojarasca producida.

Las muestras de suelo fueron tomadas en cada estación del año de verano del 2004 a otoño de 2008. En cada sitio, se colectaron 5 muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm, colectando una muestra en el centro de cada área y las otras cuatro muestras hacia los puntos cardinales. Generalmente se asume que los impactos del cambio de uso de suelo en los contenidos de materia orgánica y nutrientes se presentan en las capas más superficiales del suelo; sin embargo, resultados recientes (López-Garrido et al., 2011) han demostrado la importancia de la acumulación de carbono orgánico a profundidades cercanas a los 40 cm, de ahí la decisión de muestrear a esa profundidad.

La distancia entre muestras varió en función de las dimensiones de cada sitio. Estas muestras fueron utilizadas como pre-muestreo de cada sitio con el fin de determinar, mediante la ecuación de Bonham (1980), el tamaño de muestra mínimo requerido para obtener la confiabilidad deseada en los resultados de los diferentes parámetros del suelo que serían evaluados. La ecuación utilizada fue:

$$n = \frac{t^2 * s^2}{(k * \bar{X})^2}$$

donde:

n= tamaño de la muestra o número mínimo de muestras requerido por sitio

t= parámetro estadístico t para un nivel de confianza dado (g.l.= 4; α = 0.05)

s^2 = varianza muestral.

k= la precisión deseada (0.1 para densidad aparente y materia orgánica)

\bar{X} = media muestral.

Los tamaños de muestra resultantes de la aplicación de la ecuación fluctuaron entre 1.22 y 4.39, por lo que se decidió dejar un tamaño de muestra de 5 repeticiones por sitio y trabajar con igual número de repeticiones para todos los usos de suelo.

Para la determinación del contenido de materia orgánica, las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas a través de una malla de 2

mm y posteriormente analizadas mediante el método de combustión húmeda y titulación según Walkley-Black (Woerner, 1989).

La densidad aparente, como indicador de la compactación del suelo, se determinó mediante el método gravimétrico (Blake y Hartge, 1986). Las dimensiones del cilindro utilizado permitieron colectar la muestra a una profundidad de 4.5 cm. Las muestras tomadas en campo se secaron en estufa a 105°C hasta obtener peso constante y el valor de densidad aparente se estimó dividiendo el peso del suelo seco, o masa del suelo, entre el volumen del cilindro.

La textura se determinó al tacto, corroborando algunas muestras con análisis de laboratorio y ésta fue arcillosa y arcillo limosa.

La colecta y cuantificación de hojarasca se efectuó mensualmente durante el año 2008, utilizando trampas de malla de 50 x 50 cm para su colecta.

Paralelamente a las determinaciones de laboratorio, se analizaron los datos de precipitación y temperatura. Adicionalmente, se generó un índice de aridez que pudiera simplificar el análisis de los datos climatológicos manejando un solo valor en lugar de dos (precipitación y temperatura). El índice generado fue una modificación al índice de Lang, utilizando en lugar de la precipitación anual promedio propuesta por Lang, la precipitación acumulada de cada estación del año. Así, el Índice se calculó dividiendo la precipitación acumulada en la estación (Pes) en mm sobre la temperatura promedio de dicha estación (Tes) en °C, dicho de otra forma el Índice de Lang modificado = Pes/Tes .

Análisis Estadístico.

Debido a que los datos no presentaron homogeneidad en las varianzas, éstos fueron sometidos a la prueba de Welch que se considera como una alternativa más robusta al estadístico F, tanto para la variable materia orgánica como para densidad aparente del suelo. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Games-Howell ($P=0.05$) para evaluar las

diferencias en las propiedades físicas y químicas del suelo entre fechas y entre usos de suelo.

Se realizaron análisis de correlación entre las variables temperatura, precipitación e índice de Lang VS materia orgánica y densidad aparente.

RESULTADOS.

Comparaciones entre usos de suelo.

Los valores promedio de materia orgánica para los usos de suelo evaluados fluctuaron entre 2.8% para el pastizal y 4.9% para el matorral sin uso, considerados éstos como contenidos moderados de materia orgánica. La densidad aparente más baja fue de 1.09 g cm⁻³ para el matorral sin uso y el valor más alto de 1.32 g cm⁻³ para las áreas de pastizal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas para los parámetros evaluados: densidad aparente y materia orgánica, por uso de suelo.

Densidad aparente				
Uso de suelo	N	Media	Desviación estándar	Error estándar
1. Matorral sin uso	65	1.0949	.11905	.01477
2. Pastizal	65	1.3263	.13248	.01643
3. Plantación eucaliptos	65	1.1803	.10264	.01273
4. Plantación de ébanos	65	1.1838	.10136	.01257
5. Plantación de leucaena	65	1.2092	.12123	.01504
6. Matorral como agostadero	65	1.2980	.14769	.01832
Total	390	1.2154	.14370	.00728
Materia orgánica				
1. Matorral sin uso	65	4.9172	1.05306	.13062
2. Pastizal	65	2.8237	.56245	.06976
3. Plantación eucaliptos	65	4.2270	.84304	.10457
4. Plantación de ébanos	65	3.4928	.35231	.04370
5. Plantación de leucaena	65	3.7142	.65557	.08131
6. Matorral como agostadero	65	4.4914	1.08330	.13437
Total	390	3.9444	1.05352	.05335

La prueba de homogeneidad de varianzas mostró que éstas no son homogéneas (Cuadro 3) por lo que se procedió a utilizar la prueba de Welch y la comparación de medias de Games Howell. Esta prueba es una buena alternativa al estadístico F cuando no es posible asumir que las varianzas poblacionales son iguales.

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de homogeneidad de varianzas.

	Prueba de Levene	df1	df2	Sig.
Densidad aparente	2.673	5	384	.022
Materia orgánica	16.036	5	384	.000

Puesto que el valor de p (nivel de significancia) fue menor de 0.05, se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas y se concluye que las varianzas de cada una de las variables: materia orgánica y densidad aparente no son homogéneas.

Materia orgánica.

Los resultados del análisis mostraron que el contenido de materia orgánica de los sitios de pastizal (2.8%) es inferior al del todos los demás usos de suelo (Cuadro 4 y Figura 2). El contenido de materia orgánica no difirió entre las plantaciones de ébano y las de leucaena ($P=0.167$). Tampoco hubo diferencias entre el contenido de materia orgánica en las plantaciones de eucalipto y las áreas de agostadero ($P=0.631$). Asimismo, el matorral sin uso (4.9%) y el matorral utilizado como agostadero (4.5%) presentaron contenidos similares de materia orgánica ($P=0.213$) (Cuadro 4 y Figura 2).

Cuadro 4. Resultados del análisis de Games-Howell para los valores de materia orgánica, comparando entre usos de suelo.

(I) suelo	(J) suelo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
matorral	pastizal	2.09351(*)	.14808	.000
	eucalipto	.69023(*)	.16732	.001
	ébano	1.42448(*)	.13773	.000
	leucaena	1.20303(*)	.15386	.000
	agostadero	.42588	.18739	.213
pastizal	matorral	-2.09351(*)	.14808	.000
	eucalipto	-1.40328(*)	.12570	.000
	ébano	-.66903(*)	.08232	.000
	leucaena	-.89048(*)	.10714	.000
	agostadero	-1.66763(*)	.15140	.000
eucalipto	matorral	-.69023(*)	.16732	.001
	pastizal	1.40328(*)	.12570	.000
	ébano	.73425(*)	.11333	.000
	leucaena	.51280(*)	.13246	.002
	agostadero	-.26435	.17026	.631
ébano	matorral	-1.42448(*)	.13773	.000
	pastizal	.66903(*)	.08232	.000
	eucalipto	-.73425(*)	.11333	.000
	leucaena	-.22145	.09231	.167
	agostadero	-.99860(*)	.14129	.000
leucaena	matorral	-1.20303(*)	.15386	.000
	pastizal	.89048(*)	.10714	.000
	eucalipto	-.51280(*)	.13246	.002
	ébano	.22145	.09231	.167
	agostadero	-.77715(*)	.15706	.000
agostadero	matorral	-.42588	.18739	.213
	pastizal	1.66763(*)	.15140	.000
	eucalipto	.26435	.17026	.631
	ébano	.99860(*)	.14129	.000
	leucaena	.77715(*)	.15706	.000

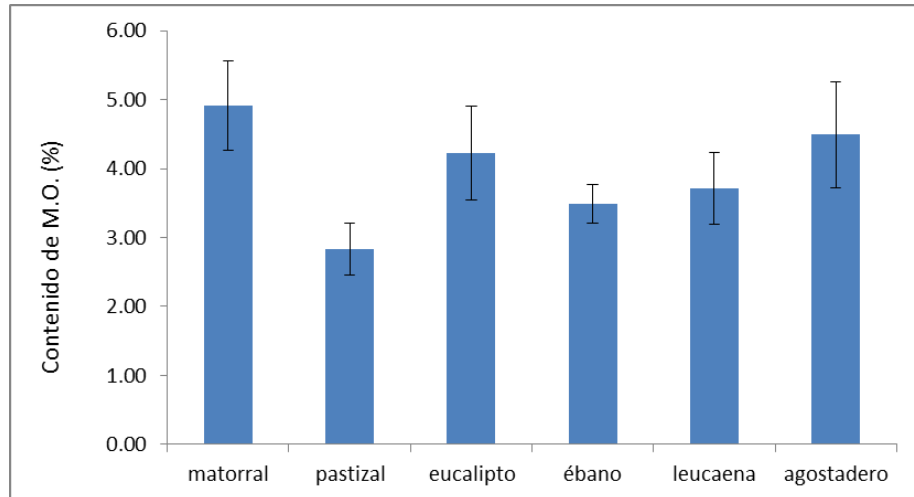


Figura 2. Contenido promedio de materia orgánica (n=65) en cada uso de suelo.

Densidad aparente.

En el caso de la densidad aparente, los resultados muestran que la menor compactación del suelo, expresada en la menor densidad aparente (1.09 g cm^{-3}) se presentó en los sitios de matorral sin uso, siendo diferente de todos los demás usos de suelo. De manera contraria, los valores más altos de densidad aparente fueron en los sitios de pastizal y de agostadero (1.32 y 1.30 g cm^{-3}); estos dos usos de suelo iguales entre sí ($P=0.771$) y diferentes de los tres restantes: plantación de eucaliptos, plantación de ébanos y plantación de leucaena (Cuadro 5 y Figura 3) que mostraron valores de 1.18 , 1.18 y 1.21 g cm^{-3} .

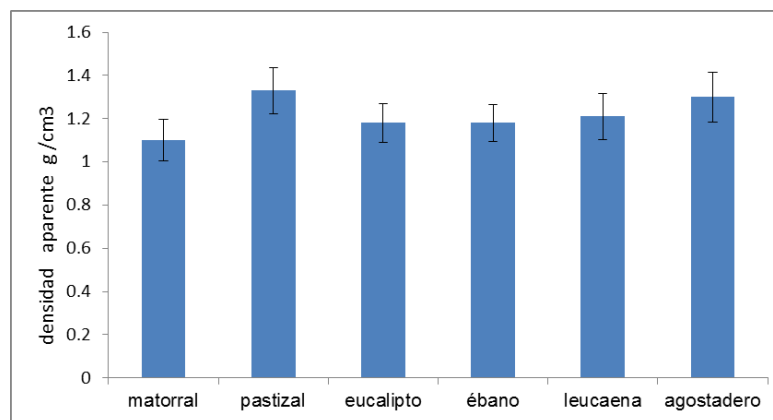


Figura 3. Valores promedio de densidad aparente (n=65) en cada uso de suelo.

Cuadro 5. Resultados del análisis de Games-Howell para los valores de densidad aparente, comparando entre usos de suelo.

(I) suelo	(J) suelo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
matorral	pastizal	-.23138(*)	.02137	.000
	eucalipto	-.08538(*)	.02137	.001
	ébano	-.08892(*)	.02137	.001
	leucaena	-.11431(*)	.02137	.000
	agostadero	-.20308(*)	.02137	.000
pastizal	matorral	.23138(*)	.02137	.000
	eucalipto	.14600(*)	.02137	.000
	ébano	.14246(*)	.02137	.000
	leucaena	.11708(*)	.02137	.000
	agostadero	.02831	.02137	.771
eucalipto	matorral	.08538(*)	.02137	.001
	pastizal	-.14600(*)	.02137	.000
	ébano	-.00354	.02137	1.000
	leucaena	-.02892	.02137	.755
	agostadero	-.11769(*)	.02137	.000
ébano	matorral	.08892(*)	.02137	.001
	pastizal	-.14246(*)	.02137	.000
	eucalipto	.00354	.02137	1.000
	leucaena	-.02538	.02137	.843
	agostadero	-.11415(*)	.02137	.000
leucaena	matorral	.11431(*)	.02137	.000
	pastizal	-.11708(*)	.02137	.000
	eucalipto	.02892	.02137	.755
	ébano	.02538	.02137	.843
	agostadero	-.08877(*)	.02137	.001
agostadero	matorral	.20308(*)	.02137	.000
	pastizal	-.02831	.02137	.771
	eucalipto	.11769(*)	.02137	.000
	ébano	.11415(*)	.02137	.000
	leucaena	.08877(*)	.02137	.001

Comparaciones entre estaciones del año.

Materia orgánica.

Los contenidos de materia orgánica fluctuaron, entre estaciones, a lo largo del periodo de evaluación (Figura 4), si bien no en todos los casos las diferencias fueron significativas (Cuadro 7). En los usos de suelo de matorral, agostadero y plantación de ébanos los contenidos de materia orgánica no difirieron entre las estaciones del año ($P=0.269$, 0.052 y 0.084) mientras que en los otros usos de suelo sí hubo diferencias y los mayores contenidos se registraron en las estaciones de otoño e invierno para el pastizal (3.06 y 2.97%), invierno para la plantación de eucalipto (4.6%) y otoño para la plantación de leucaena (4.6%) (Cuadros 6 y 7).

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas del contenido de materia orgánica en cada uso de suelo, por estación del año y valores de p resultantes del análisis de varianza.

Usos de suelo	estaciones	N	media	Desviación estándar	Error estándar	P
matorral	verano	20	4.52900	.727403	.162652	.269
	otoño	15	5.07667	1.304529	.336828	
	invierno	15	5.13200	1.300369	.335754	
	primavera	15	5.06200	.806112	.208137	
	Total	65	4.91754	1.053648	.130689	
pastizal	verano	20	2.47750	.431093	.096395	.006
	otoño	15	3.06933	.579833	.149712	
	invierno	15	2.97667	.578763	.149436	
	primavera	15	2.89133	.505807	.130599	
	Total	65	2.82477	.562234	.069736	
eucalipto	verano	20	3.81750	.563344	.125968	.019
	otoño	15	4.49867	.536841	.138612	
	invierno	15	4.60800	1.204054	.310885	
	primavera	15	4.12267	.772301	.199407	
	Total	65	4.22754	.843290	.104597	
ébano	verano	20	3.33200	.295022	.065969	.084
	otoño	15	3.56067	.309803	.079991	
	invierno	15	3.61267	.433564	.111946	
	primavera	15	3.52267	.327490	.084557	
	Total	65	3.49354	.352351	.043704	
leucaena	verano	20	3.46350	.500466	.111908	.002
	otoño	15	4.06400	.420201	.108495	
	invierno	15	4.01533	.541227	.139744	
	primavera	15	3.40067	.854112	.220531	
	Total	65	3.71492	.655172	.081264	
agostadero	verano	20	4.08100	.921794	.206119	.052
	otoño	15	4.90533	1.018071	.262865	
	invierno	15	4.86467	1.398310	.361042	
	primavera	15	4.25400	.762906	.196982	
	Total	65	4.49200	1.082900	.134317	

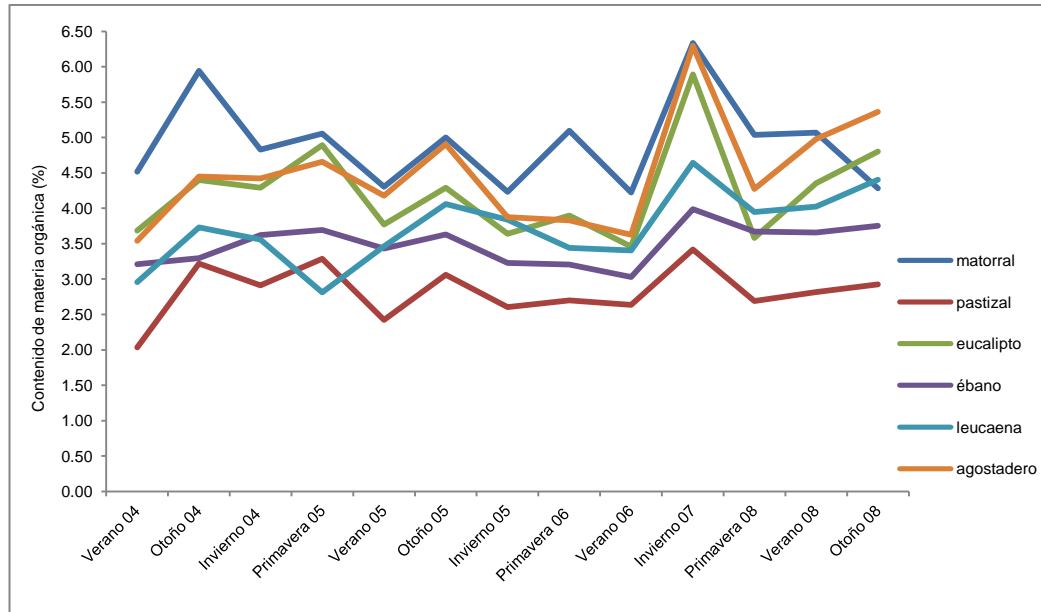


Figura 4. Contenido de materia orgánica (%) para los usos de suelo estudiados a lo largo del periodo de evaluación.

Aún cuando no se detectaron diferencias en el contenido de materia orgánica, entre estaciones del año, en el matorral y en el área de agostadero, la Figura 4 muestra notables fluctuaciones en estos dos usos de suelo, principalmente en las estaciones de otoño 2004 e invierno 2007. El hecho de que estadísticamente no se manifiesten estas diferencias es debido a la alta varianza en los datos, con valores de desviación estándar totales superiores a 1.0, a diferencia de los demás usos de suelo donde las desviaciones estándar están entre 0.35 y 0.84 (Cuadro 5).

La alta varianza es debida, seguramente, a la mayor heterogeneidad en la composición y distribución de la vegetación en los usos de suelo de matorral, ya sea utilizado como agostadero o bien sin uso, a diferencia de las plantaciones o el pastizal.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de Games Howell para los usos de suelo que sí mostraron diferencias en el contenido de materia orgánica entre estaciones del año.

Variable dependiente	(I) estaciones	(J) estaciones	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
pastizal	verano	otoño	-.591833 [*]	.178061	.014
		invierno	-.499167 [*]	.177829	.044
		primavera	-.413833	.162321	.074
	otoño	verano	.591833 [*]	.178061	.014
		invierno	.092667	.211530	.971
		primavera	.178000	.198670	.807
	invierno	verano	.499167 [*]	.177829	.044
		otoño	-.092667	.211530	.971
		primavera	.085333	.198462	.973
	primavera	verano	.413833	.162321	.074
		otoño	-.178000	.198670	.807
		invierno	-.085333	.198462	.973
eucalipto	verano	otoño	-.681167 [*]	.187299	.005
		invierno	-.790500	.335436	.121
		primavera	-.305167	.235863	.575
	otoño	verano	.681167 [*]	.187299	.005
		invierno	-.109333	.340386	.988
		primavera	.376000	.242851	.425
	invierno	verano	.790500	.335436	.121
		otoño	.109333	.340386	.988
		primavera	.485333	.369341	.563
	primavera	verano	.305167	.235863	.575
		otoño	-.376000	.242851	.425
		invierno	-.485333	.369341	.563
leucaena	verano	otoño	-.600500 [*]	.155867	.003
		invierno	-.551833 [*]	.179030	.022
		primavera	.062833	.247300	.994
	otoño	verano	.600500 [*]	.155867	.003
		invierno	.048667	.176917	.993
		primavera	.663333	.245774	.061
	invierno	verano	.551833 [*]	.179030	.022
		otoño	-.048667	.176917	.993
		primavera	.614667	.261079	.114
	primavera	verano	-.062833	.247300	.994
		otoño	-.663333	.245774	.061
		invierno	-.614667	.261079	.114

Densidad aparente

Con excepción del uso de suelo de agostadero ($P=0.053$), todos los usos de suelo mostraron diferencias entre estaciones del año en los valores de densidad aparente del suelo (Cuadro 7). Estas fluctuaciones se representan en la Figura 5.

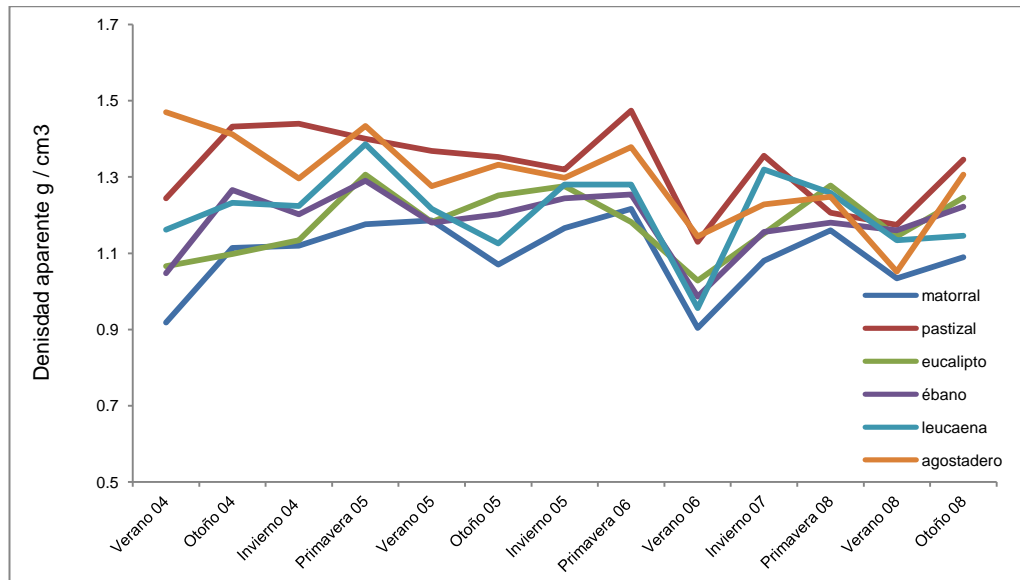


Figura 5. Valores de densidad aparente (g/cm^3) para los usos de suelo estudiados a lo largo del periodo de evaluación.

Para el matorral, los valores de densidad más bajos se presentaron en verano ($1.01 \text{ g}/\text{cm}^3$) y otoño ($1.09 \text{ g}/\text{cm}^3$), siendo éstos estadísticamente diferentes a los de primavera, que fueron los más altos con $1.18 \text{ g}/\text{cm}^3$. De manera similar, en la plantación de leucaena, la densidad aparente fue menor en las estaciones de verano y otoño (1.12 y $1.17 \text{ g}/\text{cm}^3$) y diferente a la de invierno y primavera (1.27 y $1.31 \text{ g}/\text{cm}^3$) (Cuadros 7 y 8).

Para el pastizal y las plantaciones de eucalipto y de ébano, la densidad aparente más baja fue en verano (1.23 , 1.05 y $1.09 \text{ g}/\text{cm}^3$) y fue diferente a las otras tres estaciones del año (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Estadísticas descriptivas de la densidad aparente en cada uso de suelo, por estación del año y valores de significancia (P) resultantes del análisis de varianza.

Usos de suelo	estaciones	N	media	Desviación estándar	Error estándar	P
matorral	verano	20	1.01050	.132167	.029553	.000
	otoño	15	1.09133	.084335	.021775	
	invierno	15	1.12200	.079480	.020522	
	primavera	15	1.18400	.090380	.023336	
	Total	65	1.09492	.119047	.014766	
pastizal	verano	20	1.22900	.118539	.026506	.001
	otoño	15	1.37667	.063882	.016494	
	invierno	15	1.37200	.112580	.029068	
	primavera	15	1.36000	.157208	.040591	
	Total	65	1.32631	.132483	.016433	
eucalipto	verano	20	1.10500	.085870	.019201	.000
	otoño	15	1.19867	.096944	.025031	
	invierno	15	1.18733	.086888	.022434	
	primavera	15	1.25533	.081580	.021064	
	Total	65	1.18031	.102637	.012731	
ébano	verano	20	1.09350	.099593	.022270	.000
	otoño	15	1.23000	.052644	.013593	
	invierno	15	1.20067	.077595	.020035	
	primavera	15	1.24133	.083227	.021489	
	Total	65	1.18385	.101361	.012572	
leucaena	verano	20	1.11700	.117880	.026359	.000
	otoño	15	1.16800	.077386	.019981	
	invierno	15	1.27467	.071401	.018436	
	primavera	15	1.30800	.090727	.023426	
	Total	65	1.20923	.121235	.015037	
agostadero	verano	20	1.23550	.188832	.042224	.053
	otoño	15	1.35000	.150523	.038865	
	invierno	15	1.27400	.059016	.015238	
	primavera	15	1.35333	.113179	.029223	
	Total	65	1.29800	.147693	.018319	

Cuadro 9. Resultados de la prueba de comparación de medias de Games-Howell, entre estaciones del año, para los valores de densidad aparente de cada uso de suelo.

Variable dependiente	(I) estaciones	(J) estaciones	Diferencia media (I-J)	Error estándar	P
matorral	verano	otoño	-.080833	.036709	.144
		invierno	-.111500(*)	.035980	.020
		primavera	-.173500(*)	.037656	.000
	otoño	verano	.080833	.036709	.144
		invierno	-.030667	.029922	.736
		primavera	-.092667(*)	.031918	.034
	invierno	verano	.111500(*)	.035980	.020
		otoño	.030667	.029922	.736
		primavera	-.062000	.031076	.214
pastizal	verano	otoño	-.147667(*)	.031219	.000
		invierno	-.143000(*)	.039339	.005
		primavera	-.131000	.048479	.055
	otoño	verano	.147667(*)	.031219	.000
		invierno	.004667	.033422	.999
		primavera	.016667	.043814	.981
	invierno	verano	.143000(*)	.039339	.005
		otoño	-.004667	.033422	.999
		primavera	.012000	.049926	.995
eucalipto	verano	otoño	-.093667(*)	.031547	.029
		invierno	-.082333(*)	.029529	.043
		primavera	-.150333(*)	.028502	.000
	otoño	verano	.093667(*)	.031547	.029
		invierno	.011333	.033613	.987
		primavera	-.056667	.032714	.327
	invierno	verano	.082333(*)	.029529	.043
		otoño	-.011333	.033613	.987
		primavera	-.068000	.030773	.145
ébano	verano	otoño	-.136500(*)	.026090	.000
		invierno	-.107167(*)	.029955	.006
		primavera	-.147833(*)	.030947	.000
	otoño	verano	.136500(*)	.026090	.000
		invierno	.029333	.024211	.626
		primavera	-.011333	.025427	.970
	invierno	verano	.107167(*)	.029955	.006
		otoño	-.029333	.024211	.626
		primavera	-.040667	.029380	.519
leucaena	verano	otoño	-.051000	.033076	.425
		invierno	-.157667(*)	.032166	.000
		primavera	-.191000(*)	.035264	.000
	otoño	verano	.051000	.033076	.425
		invierno	-.106667(*)	.027187	.003
		primavera	-.140000(*)	.030790	.001
	invierno	verano	.157667(*)	.032166	.000
		otoño	.106667(*)	.027187	.003
		primavera	-.033333	.029810	.682
agostadero	verano	otoño	-.114500	.057388	.210

otoño	invierno	-.038500	.044890	.826
	primavera	-.117833	.051350	.121
	verano	.114500	.057388	.210
	invierno	.076000	.041745	.296
invierno	primavera	-.003333	.048626	1.000
	verano	.038500	.044890	.826
	otoño	-.076000	.041745	.296
	primavera	-.079333	.032957	.106

Efecto de la precipitación y temperatura en los parámetros del suelo.

Dado que las variaciones en precipitación y temperatura no tienen un efecto inmediato en las propiedades del suelo mineral, las series de datos climatológicos y de las variables del suelo se analizaron desplazando las primeras uno, dos y tres años hacia atrás. Así, los datos climatológicos de 2001 a 2008 fueron analizados contra las variables del suelo registradas de 2004 a 2008.

De las correlaciones analizadas, la que presentó los valores más altos fue la de datos climatológicos 2003-2007 vs densidad aparente 2004-2008 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valores de correlación (Pearson) para densidad aparente de los diferentes usos de suelo y variables climáticas.

	Valores de correlación de Pearson					
	matorral	pastizal	eucaliptos	ébanos	leucaenas	agostadero
Densidad aparente	1	1	1	1	1	1
Precipitación acumulada por estación (cm)	-0.4502152	0.06755705	-0.5057059	-0.2874208	-0.1651542	0.03185412
Temperatura promedio por estación °C	-0.5624968	-0.3796925	-0.526444	-0.5226129	-0.5194216	-0.4175967
Índice Lang	-0.3078298	0.202135	-0.3964661	-0.1044617	-0.0156862	0.15077013

Las mayores correlaciones se presentaron entre la densidad aparente y la temperatura para todos los usos de suelo, siendo estas correlaciones

negativas en todos los casos (Cuadro 10).

La variable "materia orgánica" presentó valores de correlación muy bajos (<0.3) en todos los casos para todos los años analizados. La única excepción fue en los sitios de matorral con las series climatológicas 2003-2007 donde el valor de correlación entre materia orgánica e índice de Lang fue de 0.489.

Deposición de hojarasca.

El promedio anual de deposición de hojarasca por hectárea, en cada uso de suelo, se muestra en el Cuadro 11. La deposición de hojarasca fluctuó a lo largo del 2008, año en que fue evaluada (Figura 6).

Cuadro 11. Deposición promedio anual de hojarasca en cada uso de suelo.

Uso de suelo	Valor promedio (kilos hectárea ⁻¹ año ⁻¹)
Matorral	4037.12
Plantación de eucaliptos	5857.36
Plantación de ébanos	6482.40
Plantación de leucaena	5540.32
Agostadero	3591.12

En la gráfica de la Figura 6, se aprecia un notorio incremento en la deposición de hojarasca en el mes de abril para los usos de suelo: plantación de ébanos, plantación de eucaliptos y matorral y un segundo incremento, aún cuando menor, en los meses de octubre y noviembre para esos mismos usos de suelo y el agostadero. El uso de suelo que muestra un patrón muy diferente en cuanto a la deposición de hojarasca es la plantación de leucaena, que muestra los valores más altos en los meses de agosto, septiembre y diciembre.

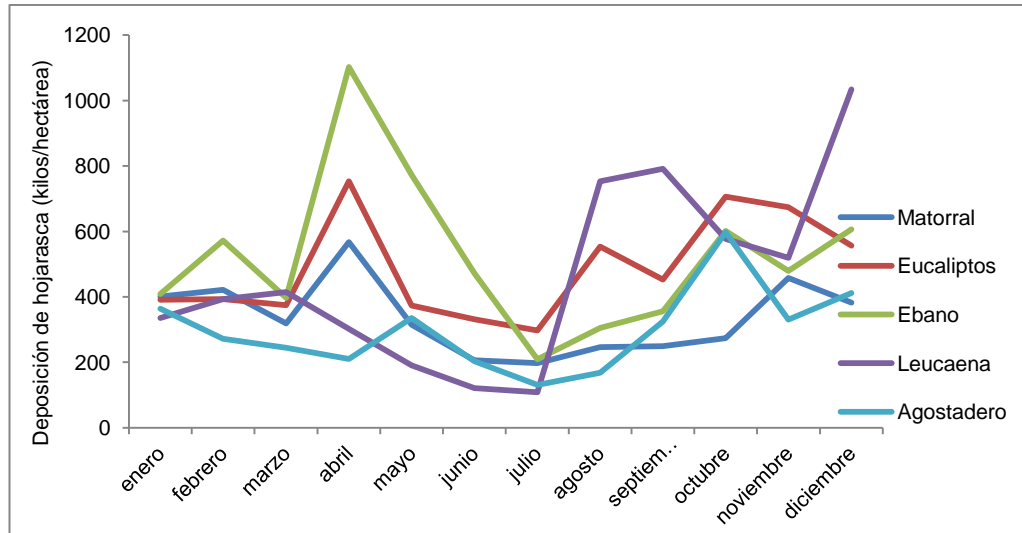


Figura 6. Deposición mensual de hojarasca (kilogramos/hectárea) para los diferentes usos de suelo durante 2008.

Cuadro 12. Aportes de hojarasca por estación del año, por hectárea, en cada uso de suelo.

Uso de suelo	Aportación de hojarasca (kg hectárea ⁻¹)			
	primavera	verano	otoño	invierno
Matorral	1200.72	650.88	980.56	1204.96
Plantación de eucaliptos	1501.20	1182.48	1832.80	1340.88
Plantación de ébanos	2272.00	987.44	1436.48	1786.48
Plantación de leucaena	907.52	982.16	1888.00	1762.64
Agostadero	789.36	501.92	1252.08	789.36

Discusión.

Seis usos de suelo representativos del noreste de México fueron seleccionados en vertisoles con textura arcillosa y franco-arcillosa. El área de pastizal presentó los valores más bajos de materia orgánica entre los usos de suelo analizados y se encontró que el contenido de ésta decreció en casi un 50% con respecto a la vegetación original de matorral. En un estudio similar, Covalada et al., (2011) reportaron pérdidas de alrededor de un 25% en el carbón orgánico del suelo al convertir un bosque en pastizal y la mayor pérdida de carbón orgánico lo reportan para las áreas de cultivo con una disminución de un 70%, en suelos volcánicos del centro de México. Asimismo, Offiong et al., (2009) reportaron una disminución del 38.3% en el carbón orgánico del suelo al convertir un bosque natural en pastizal en el sur de Nigeria. Selassie y Ayanna (2013), comparando entre áreas de pastizal, tierras de cultivo, plantación de eucaliptos y bosque natural en nitosoles del noroeste de Etiopía, reportan valores de 1.29%, 0.61%, 1.10% y 3.03% de carbón orgánico a 30 cm de profundidad y concluyen que los niveles más bajos de carbón orgánico se registraron en las áreas de cultivo y los contenidos más altos en el bosque natural. Los valores de carbón reportados en la presente investigación difieren de los reportados por Selassie y Ayanna (op. cit.) ya que se encontraron valores de 1.62% de CO para pastizales, 2.45% para plantación de eucalipto y 2.85 para el matorral sin uso, ya que los suelos y especies vegetales son diferentes, pero aún así coinciden en que los valores más altos fueron para el bosque o vegetación natural.

El contenido de materia orgánica no difirió entre las plantaciones de ébano y las de leucaena. Tampoco hubo diferencias entre el contenido de materia orgánica en las plantaciones de eucalipto y las áreas de agostadero. Asimismo, el matorral sin uso y el matorral utilizado como agostadero presentaron contenidos similares de materia orgánica. Este último resultado nos hace rechazar una de las hipótesis planteadas donde se establecía que "Los sitios de matorral sin uso tendrán mayor contenido de materia orgánica que los demás usos de suelo evaluados" ya que los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica fue igual en los sitios de agostadero

(4.49%) que en los sitios de matorral sin uso (4.92%). Estos dos usos de suelo, matorral y agostadero, presentaron los valores más altos de materia orgánica ya que ninguno de los dos implicó un cambio total de la vegetación existente. En la mayoría de los casos, la conversión de ecosistemas naturales a otras formas de cobertura del suelo ocasionan una disminución en la materia orgánica del suelo; por ejemplo, datos presentados por Deekor et al., (2012) al comparar diferentes usos de suelo en un bosque tropical en Nigeria muestran esta disminución en el contenido de carbón orgánico del suelo al transformar un bosque secundario (1.93% de CO) en una plantación de hule (1.04% de CO). De manera similar, Gol (2009) reporta que los contenidos de materia y carbón orgánicos fueron más altos en el bosque natural que en los otros usos de suelo analizados (pastizal, plantación de avellanos y cultivo de maíz). La disminución que se observa al transformar la vegetación natural obedece, generalmente, a los cambios en la temperatura y humedad del suelo así como el cambio en la composición de la vegetación y, en consecuencia, la cantidad y calidad de la hojarasca aportada al suelo (Offiong and Iwara, 2012).

En el caso de la densidad aparente, los resultados mostraron que la menor compactación del suelo se presentó en los sitios de matorral sin uso (1.09 g cm^{-3}), siendo diferente de todos los demás usos de suelo. De manera contraria, los valores más altos de densidad aparente fueron en los sitios de pastizal y de agostadero (1.32 y 1.30 g cm^{-3}); estos dos usos de suelo iguales entre sí y diferentes de los tres restantes: plantación de eucaliptos, plantación de ébanos y plantación de leucaena que tuvieron valores de 1.18 , 1.18 y 1.21 g cm^{-3} .

En los usos de suelo de matorral, agostadero y plantación de ébanos los contenidos de materia orgánica no difirieron entre las estaciones del año, en los restantes usos de suelo sí hubo diferencias y los mayores contenidos se registraron en las estaciones de otoño e invierno para el pastizal (3.06 y 2.97%), invierno para la plantación de eucalipto (4.6%) y otoño para la plantación de leucaena (4.6%). Un resultado similar presentan Ryan et al., (2009) quienes al comparar los contenidos de materia orgánica a lo largo del

año, para un área con rotación de cultivos de cereales, reportan que los mayores contenidos de materia orgánica (1.48%) fueron en el mes de febrero (que corresponde a la estación de invierno de la presente investigación) y los más bajos (1.15%) en el mes de agosto (verano).

Con excepción del uso de suelo de agostadero ($P=0.053$), todos los usos de suelo tuvieron diferencias entre estaciones del año en los valores de densidad aparente del suelo. De manera general, las menores densidades aparentes se presentaron en el verano: para el pastizal y las plantaciones de eucalipto y de ébano, la densidad aparente más baja fue en verano (1.23 , 1.05 y 1.09 g cm^{-3}). Para el matorral y la plantación de leucaena los valores de densidad más bajos se presentaron en verano y otoño (1.01 g cm^{-3} y 1.09 g cm^{-3} para matorral y 1.12 y 1.17 g cm^{-3} para la leucaena). Contrario a estos resultados, Hu et al., (2012) reportan, para una microcuenca del Altiplano Loess de China, que los valores de densidad aparente de los 5 cm más superficiales del suelo, se incrementaron en un 2.1% de marzo a junio de 2007 para luego volver a descender en 1.3% de junio a octubre de ese mismo año, resultando el mes de junio (verano) con los valores más altos.

No se presentaron valores de correlación altos entre las variables climáticas (precipitación, temperatura e índice de Lang) en ninguno de los casos analizados. Para la densidad aparente hubo correlaciones medianamente altas (valores de r^2 entre 0.37 y 0.56) con la temperatura y esta correlación fue negativa en todos los usos de suelo.

La materia orgánica presentó valores de correlación muy bajos (<0.3) en todos los casos para todos los años analizados. La única excepción fue en los sitios de matorral con las series climatológicas 2003-2007 donde el valor de correlación entre materia orgánica e índice de Lang fue de 0.489. La ausencia de correlación posiblemente se debió a la profundidad de muestreo (0-30 cm) ya que las mayores acumulaciones de materia orgánica se producen en los primeros centímetros del suelo (Molina, 2011) y quizás su efecto quedó diluido en una profundidad de 30 cm. La distribución de la

materia orgánica en el perfil del suelo depende de factores como el tipo de vegetación, drenaje, clima, topografía y condiciones climáticas.

A pesar de que el matorral sin uso y el matorral utilizado como agostadero presentaron los mayores contenidos de materia orgánica (4.9% y 4.5%), fue en estos dos usos de suelo donde la deposición de hojarasca fue menor con $4.037 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.59 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente.

La plantación de ébanos presentó la mayor deposición de hojarasca entre los usos de suelo analizados ($6.48 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Las fechas de mayor caída de hojarasca para este uso de suelo fueron en los meses de abril y octubre lo cual coincide con la época en que se reporta la mayor caída de las hojas: de marzo a principios de mayo y la caída de los frutos a finales de octubre (Rodríguez, 1994).

Las cantidades de hojarasca cuantificadas en este estudio no difieren notoriamente de las reportadas por otros autores para tipos de vegetación semejantes. Por ejemplo, la deposición de hojarasca registrada en la plantación de eucalipto fue de $5.86 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, cantidad semejante a la reportada para otras plantaciones de eucalipto en el mundo que oscila entre 369 y $580 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Briggs y Maher, 1983) lo que equivale a 3.69 y $5.8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Para la vegetación de matorral sin uso, López-Hernández et al., (2013) reportan $4.62 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y para matorral de agostadero $3.21 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, ambos en áreas de matorral espinoso tamaulipeco; datos bastante cercanos a los encontrados en la presente investigación donde se registraron $4.04 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para matorral sin uso y $3.6 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para agostadero.

Conclusiones.

Los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica de los sitios de pastizal (28%) es inferior al del todos los demás usos de suelo y no hubo diferencias entre las plantaciones de ébano (3.5%) y las de leucaena (3.7%), ni entre plantaciones de eucalipto (4.2%) y áreas de agostadero (4.5%). Asimismo, el matorral sin uso (4.9%) y el matorral utilizado como agostadero presentaron contenidos similares de materia orgánica.

Este último resultado nos hace rechazar una de las hipótesis planteadas donde se establecía que "Los sitios de matorral sin uso tendrán mayor contenido de materia orgánica que los demás usos de suelo evaluados" ya que los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica fue igual en los sitios de agostadero (4.49%) que en los sitios de matorral sin uso (4.92%).

Los suelos que presentaron la menor compactación fueron los de matorral sin uso (1.09 g/cm^3) y la mayor compactación se registró en los sitios de pastizal y de agostadero (1.32 y 1.30 g/cm^3).

En los usos de suelo de matorral, agostadero y plantación de ébanos los contenidos de materia orgánica no difirieron entre las estaciones del año, en los restantes usos de suelo sí hubo diferencias y los mayores contenidos se registraron en las estaciones de otoño e invierno para el pastizal (3.06 y 2.97%), invierno para la plantación de eucalipto (4.6%) y otoño para la plantación de leucaena (4.6%). Con ello se demuestra que la hipótesis de que las variables del suelo analizadas varían a lo largo del año debido a las variaciones de precipitación y temperatura se cumple parcialmente ya que las variaciones se detectaron en tres de los seis usos de suelo estudiados y no se encontró una alta correlación entre las variables del suelo y las variables climáticas.

Se puede concluir que, de los seis usos de suelo estudiados, los sitios de pastizal son los que presentan mayor desertificación, evidenciada por la mayor compactación del suelo y menor contenido de materia orgánica.

Literatura citada

- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- Álvarez-Sánchez, J., Becerra, R. 1996. Leaf decomposition in a mexican tropical rain forest. *Biotropica*, 28(4b): 657-667.
- Blake, G. y A.R. Hartge. 1986. Bulk density. En: *Methods of soil analysis*. C.A. Black (Editor). American Society of Agronomy, Madison. Estados Unidos.
- Bravo, M. R. 1999. Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el estado de Nuevo León, México. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N.L. Mexico.
- Briggs S.V. & M.T. Maher. 1983. Litter Fall and Leaf Decomposition in a River Red Gum (*Eucalyptus camaldulensis*) Swamp. *Australian Journal of Botany* 31(3) 307- 316 .
- Chandran, P., S.K. Ray, S.L. Durge, P. Raja, A.M. Nimkar, T. Bhattacharyya and D.K. Pal. 2009. Scope of horticultural land use system in enhancing carbon sequestration in ferruginous soils of the semi-arid tropics. *Curr. Sci.*, 97:1039-1046.
- Chen, C. and Z. Xu. 2010. Forest ecosystems responses to environmental changes: The key regulatory role of biochemical cycling. *Journal of Soils Sediments*, 10:210-214.
- Coûteaux, M.M., Mousseau, M., Célérier, M.L., Bottner, P. 1991. Increased atmospheric CO₂ and litter quality: decomposition of sweet chestnut leaf litter with animal food web of different complexities. *Oikos* 61: 54-64.
- Covalada S., J. F. Gallardo, F. García-Oliva, H. Kirchmann, C. Prat, M. Bravo, J. D. Etchevers. 2011. Land-use effects on the distribution of soil organic carbon within particle-size fractions of volcanic soils in the Transmexican Volcanic Belt (Mexico). *Soil Use and Management*. Volume 27 (2): 186–194.

- Deekor, T.N.; Iwara, A.I.; Ogundele, F.O.; Amiolemen, S.O.; Ita, A. E. 2012. Changes in Soil Properties under Different Land Use Covers in Parts of Odukpani, Cross River State, Nigeria. *Journal of Environment and Ecology*, Vol. 3 (1):86-99.
- Estrada, E y J, Marroquín 1988. Las Leguminosas de Linares, N. L., Pulicación especial, Fac. de Ciencias Forestales, U. A. N. L., México.
- Franzluebbers, A. J, F. M. Hons and D.A. Zuberer. 1995. Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperatura, and bulk density. *Applied Soil Ecology*. Vol 2, Issue 2. pp 95-109.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Gol (2009). Effects of Land Use Change on Soil Properties and Organic Carbon at Dagdami River Catchment in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 30(5), 825-830.
- González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Gómez Meza, M.V., Ramírez Lozano, R,G y Uvalle Saucedo, J.I. 2007. Producción de hojarasca y reciclado de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. Disponible en el sitio red: <http://www.iufro.org/uploads/media/t3-gonzalez-humberto-et-al.doc>. {Revisado el 5 de Mayo del 2008}.
- Hu, W., Shao, M. A. and Si, B. B. C. (2012), Seasonal Changes in surface bulk density and saturated hydraulic conductivity of natural landscapes. *European Journal of Soil Science*, 63:820-830. Doi: 10.1111j.1365-2389.2012.01479.x.
- King, J. A. and B. M. Campbell. 1994. Soil organic matter relations in five land cover types in the miombo region (Zimbabwe). *Forest Ecol. Manage.* 67: 225-239.
- López-Garrido, R.; E. Madejón; J. M. Murillo; y F. Moreno. 2011. Short and long-term distribution with depth of soil organic carbon and nutrients under traditional and conservation tillage in a Mediterranean

- environment (southwest Spain). *Soil Use and Management*. Vol. 27 (2):177–185.
- Mc Donagh, J.F.; Thomsen B. and J. Magid. 2001. Soil organic matter decline and compositional change associated with cereal cropping in Southern Tanzania. *Land Degradation and Development*. Vol.12:13-26.
- Molina -Ceballos, J.A. 2011. La materia orgánica del suelo. Monografías. <http://www.monografias.com/trabajos87/materia-organica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml>.
- Návar, J., Cavazos, T., Domínguez, P. A., 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de Nuevo León. *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra*. De. C. Pola, J.A. Ramírez F., Rangel, M.M., I. Navarro-L. UANL. Linares, N.L. México.
- Offiong, R. A., Atu, J. E., Njar, G. N., & Iwara, A. I. (2009). Effects of Land Use Change on Soil Physico-Chemical Properties in a South-Southern Nigeria. *African Journal of environment, Pollution and Health*, 7(2), 47-51.
- Offiong, R. A., & Iwara, A. I. (2012). Quantifying the Stock of Soil Organic Carbon Using Multiple Regression Model in a Fallow Vegetation, Southern Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 5(2), 166-172.
- Palm, C., P. Sanchez. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, 22: 330-338.
- Prause, J., Palma R.M., Adámoli J.M. 1997. Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nático del parque chaqueño húmedo. Tesis UBA. FA, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados, Magister Scientiae área Ciencias del suelo, Buenos Aires Argentina.
- Rodríguez, J. 1994. Estudio Fenológico del Ébano *Pithecellobium flexicaule* (Benth) Coult. En cuatro Municipios del Estado de Nuevo León. Tesis

Profesional (Ingeniero Agrónomo Fitotécnista). Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León. México.

- Ratnayake, R.R., G. Sereviratne and S.A. Kulasooriya. 2011. The effect of cultivation on organic carbon content in the clay mineral fraction of soils. *International Journal of Soil Science* 6 (3): 217-223.
- Rey, A., E. Pegoraro, and P.G. Jarvis. 2008. Carbon mineralization rates at different soil depths across a network of European forest sites (FORCAST). *European Journal of Soil Science*, 59:1049–1062.
- Ryan J., S. Masri, M. Singh. 2009. Seasonal Changes in Soil Organic Matter and Biomass and Labile Forms of Carbon as Influenced by Crop Rotations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol.40 (1-6): 188-199.
- Selassie Y.G. & Getachew A. 2013. Effects of Different Land Use Systems on Selected Physico-Chemical Properties of Soils in Northwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 5, No. 4; 2013: 112-120.
- Vargas-Parra. L y Varela. A. Producción de Hojarasca de un Bosque de Niebla en la Reserva Natural la Planada (Nariño, Colombia). *Univeritas Scientiarum*, Edición especial, Vol 12, 35-49.
- Woerner, M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de ciencias Forestales, UANL. Linares, Nuevo León, México.
- Williamson, J.R. y W.A. Neilsen. 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-base harvesting. *Canadian Journal of Forest Res.* 30:1196-1205